

城市空间结构对PM2.5的影响

——美国夏洛特汽车排放评估项目的借鉴和启示

THE RELATIONSHIP BETWEEN URBAN SPATIAL STRUCTURE AND PM2.5: LESSONS LEARNT FROM A MODELING PROJECT ON VEHICLE EMISSIONS IN CHARLOTTE, USA

宋彦 钟绍鹏 章征涛 陈燕萍 丹尼尔·罗德里格斯 布莱恩·莫顿

SONG Yan; ZHONG Shaopeng; ZHANG Zhengtao; CHEN Yanping; Daniel Rodriguez; Brian Morton

【摘要】汽车污染物排放量是影响PM2.5指标的重要因素,本文提出合理的城市空间结构可以有效降低汽车通行里程数,从而减少汽车排放以达到治理城市PM2.5的目的。文章通过梳理美国夏洛特汽车排放评估项目的案例,介绍了构建城市土地利用与汽车排放关系模型的4个步骤,即构建情景方案、应用TRANUS软件构建土地和交通出行的互动模型、应用MOBILE6软件估算汽车排放量、评估不同情景城市土地利用方案的汽车排放量。夏洛特汽车排放评估项目的推广将为我国城市增长方式提供实证模拟以及方案效果评估的方法引导。

【关键词】城市空间结构; PM2.5; 交通出行; 汽车排放; 情景规划; 实证模拟

ABSTRACT: Auto emission is the vital factor contributing to PM2.5. This paper explores whether urban structure can result in smaller VKTs, which in turn leads to decreases in PM2.5. Using a modeling project on urban spatial structure and auto emissions from Charlotte NC, we introduce four stages of the modeling effort: building scenarios, using TRANUS for land use and transportation interactions, estimating vehicle emission with MOBILE6, and evaluating scenarios. In general, the case can offer some lessons on empirical simulations and urban growth patterns.

KEYWORDS: urban spatial structure; PM2.5; transportation; vehicle emission; scenario planning; empirical simulation

1 引言

最近, PM2.5标准纳入我国新修订的《环境空气质量标准》中,并纳入各省市强制监测范畴,即PM2.5指标的高低已成为衡量环境好坏

的主要评判标准。PM2.5是指大气中直径小于或等于2.5微米的颗粒物,也称为可入肺颗粒物。PM2.5粒径小,富含大量的有毒、有害物质对人体健康和大气环境质量的影响很大。有学者对广州市1954-2006年期间肺癌致死率与PM2.5关系的研究表明,虽然PM2.5的致病作用可能存在时间滞后性^[1],但它与肺癌发病率存在高度相关性。2013年以来国内多个城市出现了严重的雾霾天气,作为造成雾霾天气主要“元凶”之一的PM2.5被推到风口浪尖。关于PM2.5和雾霾天气产生的原因,中国科学院的最新研究指出,在北京地区,机动车为城市PM2.5的最大来源,约为25%。可见,汽车排放量成为了影响城市PM2.5的主要因素之一。换言之,如果能有效降低机动车的尾气排放量也就能有效减少城市PM2.5。

如何消减汽车污染物排放?虽然,科学家和政策制定者都寄希望于可替代能源、汽车排放标准、或更严格的成品油技术标准;但是,人们通常会忽略另一个重要命题——城市空间结构是否会对汽车尾气排放产生影响?城市空间结构反映了城市功能、土地利用、社会群体、经济活动的空间位置及其分布特征(布局形式、开发强度)的组合关系,以及各功能之间的交通联系。城市土

【作者简介】

宋彦,女,深圳大学城市规划系系主任、教授、美国北卡大学城市规划系终身教授。

钟绍鹏,男,大连理工大学交通运输学院讲师。

章征涛,男,重庆大学建筑城规学院博士研究生、美国北卡大学城市规划系联合培养博士生。

陈燕萍,女,深圳大学城市规划系教授。

丹尼尔·罗德里格斯 (Daniel Rodriguez),男,美国北卡大学城市规划系终身教授。

布莱恩·莫顿 (Brian Morton),男,美国北卡大学城市规划系研究员。

【文章编号】 1002-1329
(2014)05-0009-06

【中图分类号】 TU984;X51

【文献标识码】 A

【doi】 10.11819/cpr20140503a

【收稿日期】 2013-07-19

地利用的空间布局及联系方式可以直接作用于城市交通出行和汽车尾气排放。现有研究表明,城市功能的紧凑布局、土地的高效利用、公共交通的支持系统、行人和自行车的出行方式^[2-6]能有效提高交通出行效率,并降低汽车有害尾气排放。因此,合理的城市空间结构可以成为降低PM2.5,改善城市环境具有前景的有效方法之一。

现有国内研究主要集中在土地利用对交通出行的影响^[7-10],或者关于交通出行对环境污染的影响研究^[11-12],鲜有从宏观视角,即从城市空间结构出发来探讨对汽车污染排放影响的研究。尽管近几年国内对此研究角度开始关注^[5],但主要仍局限在宏观政策或者描述层面^[6]。因此,笔者通过总结和梳理美国实证模拟案例,了解土地利用和交通设施对城市环境条件(如尾气排放,空气质量等)的影响程度。通过对该案例总结可为我国下一步开展实证模拟提供思路和方法引导。

2 城市空间结构与汽车排放量的关系

越来越多的文献都强调城市土地利用方式与交通出行之间存在很强的相关性^[13-18]。最近几年来,研究重心开始转向城市土地利用和汽车排放量之间的研究。众所周知,城市土地利用规划决定城市功能的空间布局,影响人们的出行行为(包括出行方式,出行路径的选择等),从而对汽车污染物(PM2.5)排放产生影响。弗兰克(Frank)等人对西雅图大都市区的研究发现,居住的密度高、街道联系性强、就业集中等因素和汽车氮氧化物(NOx)等排放物之间存在一定的相关性^[19]。2006年他们再次对此地区进行了后续研究,明确指出高混合的人口密度、街道连通性、以及土地混合等因素与汽车尾气排放(氮氧化物和挥发性颗粒物)呈负相关^[20]。一些生态方面的研究也指出,粗放、蔓延式的土地利用状况与汽车排放量

呈正相关^[21]。

如前所述,许多研究都表明紧凑的城市发展方式被视为是能有效减少汽车排放的一项战略。但是,城市土地利用方式对汽车尾气排放的影响到底有多大,还存在很大争议和不确定性。一些研究人员认为,紧凑的城市发展模式可以有效地减少7%~10%的汽车尾气排放量^[22]。而另一些机构如美国马里兰州气候行动计划组(Climatic Action Plan)、俄勒冈州应对气候变化委员会则提出相对保守的估计:采用紧凑的城市发展方式可促使2025年汽车尾气排放量下降0.5%~3.5%^[23]。因此,通过情景规划的方法来实证模拟土地选择和排放量相关性的研究已越来越受到关注^[24]。这种方法突破以往有关城市土地利用影响污染排放的研究仅局限在宏观政策研究、缺乏相应定量模拟的方法限制,可以有效量化解释城市土地利用和汽车排放之间的关系。

此外,采用情景规划的另一个最重要原因是,城市空间布局一旦形成,很难改变。因此,用情景规划来模拟城市不同发展方式,并通过城市仿真模型来评估不同方案对环境的影响,可以有效规避需要成熟的城市空间布局才能进行排放量评估的弊端。换句话说,它通过模拟城市未来发展的不同预期,为城市探寻合理的土地利用方式提供了依据。情景规划对不同规划方案的合理性以及效果提出质疑和对比。

3 美国土地利用与汽车排放的构建步骤

本文基于美国夏洛特汽车排放评估项目(2005-2010年)的成果进行分析。该项目采用TRANUS软件平台和情景规划方法,针对夏洛特城市在2050年的土地利用和交通系统构建情景模拟。TRANUS是一个基于决策理论和空间投入产出分析、并综合了土地属性(人口位置、经济活动、土地消耗)和交通功能模型(出行选择、出行频率和出行模式)的土地利用与交通分析软件。它可以更便于模拟多模式大型公共交通系统。TRANUS作为一个土地利用和交通整合软件,更利于在土地利用分析与交通行为之间产生互动。TRANUS模型的主要结构包括城市功能选址,出行产生,出行分布,模式划分,以及交通分配。图1给出了TRANUS系统的主要计算过程。简言之,该模型构建土地利用和交通的模拟计算模型,即是对土地利用方式所产生的经济行为进行交通量预测,从而达到在下一步分析中可依据交通量来测算汽车尾气排放量的目的。

夏洛特汽车排放评估项目以美国北卡罗来纳州(NC)中南部正快速发展的梅郡(Mecklenburg)为研究区域。该郡是美国南方快速发展的城市。

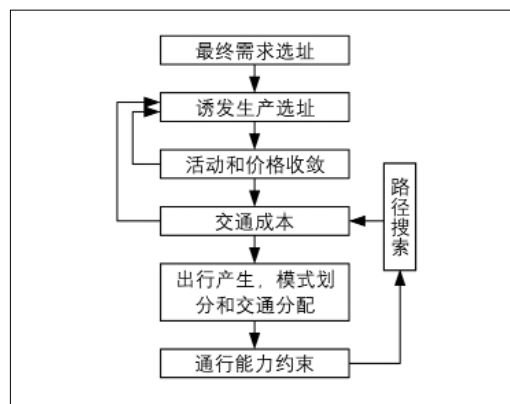


图1 TRANUS软件系统的计算过程
 Fig.1 Calculating steps of the TRANUS system
 资料来源:TRANUS软件网页,作者翻译整理。

该郡在2000年底有24万户家庭。区域中心城市为美国东南部的金融中心夏洛特(Charlotte)。目前,夏洛特有许多重要的交通投资项目在建或已建,包括已建成的城市环路、环路上的收费道路(LYNX),和刚刚投资的轻轨线路等。建成的城市环路已经逐渐使城市形成了放射走廊结构。现有的就业主要集中在城市CBD区域。未来几十年中,该地区将面临城市快速发展的重大挑战,包括水资源短缺、交通拥堵、住房成本上升、以及环境质量等问题。其中环境问题为关键:该地区已被美国环保署定为空气质量不达标区域(non-attainment area)。项目组的研究目的为通过预测该区域未来40年的土地空间布局对居民交通出行及尾气排放的影响程度。项目所用GIS数据主要包括:人口与就业的量与分布、城市土地利用功能的分布、街道网、公共交通网、土地利用区划法规等。

3.1 第一步:构建情景方案

情景规划可对城市的未来发展形成多个规划预期,并将这些预期方案进行对比分析。本研究中构建了两套情景方案,第一种城市增长情景为精明增长方案(图2左),通过土地区划法规约束未来城市土地开发的分布并配以大型公交投资,以限制未开发区域增长、促进在公交走廊车站节点上的高密度集约式土地开发。第二种城市增长情景为蔓延增长方案(图2右),城市延续其过去的发展模式,及允许城市向外摊大饼并伴随高速公路的大量而扩张。需要说明的是,两种方案中人口、就业总数以及道路新建量相同,但他们的空间分布却不相同。精明增长方案中大量就业及人口的增长向公交走廊集中,而蔓延增长方案中就业及人口增长在城市各区域全方位得到均质性增长,且在城市北郊区交通走廊上兴建分就业中心(图2~图3)。精明增长方案中的土地控制措施和公交系统相结合使城市产生了明显的多中心格局。市中心区域在两个方案中均是重要的就业中心,而在精明增长方案中沿着公交走廊又形成了多个就业中心。更重要的是,在精明增长方案中,住宅可以选址在公交可达区域。蔓延增长方案的情况完全不同,就业增长由城市中心统一向城市外围扩散蔓延。

3.2 第二步:通过TRANUS构建土地利用和交通出行的互动

上述不同规划方案确定了不同的土地利用方式,不同城市功能(即各种土地功能相对应的就业及不同人群的居住分布)在很大程度上决定了空间上的活动流量。TRANUS软件中通过不同经济部门间的经济流来产生了不同交通分析小区间

的交通流。它使土地利用和交通衔接起来,构成统一的整体。这些交通流量作为土地利用模型的输出结果以交通分析小区为单元的O-D矩阵的形式给出,并将这些经济流量转化的出行行为分配给不同的出行方式和路线,构建土地利用-交通出行模型。

3.3 第三步:利用MOBILE6模型估算汽车排放量

如上文所述,通过情景方案模拟城市土地利用方式,运用投入-产出模型(TRANUS)可以有效的将土地利用所产生的经济流转换为交通流,在下一步中,利用美国环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)排放模型——MOBILE6

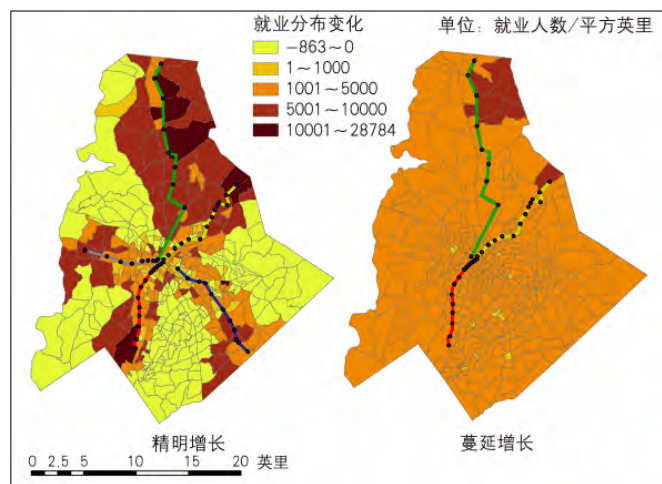


图2 精明增长(左)和蔓延增长(右)及两种方案的就业分布变化(两方案总变化量相同)

Fig.2 Changes in distribution of employment between smart growth (left) and sprawl (right) (with the same general changing amount)
来源:作者自绘。

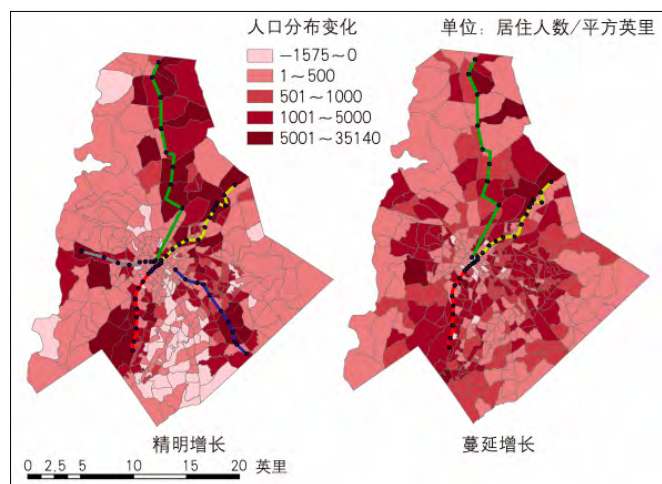


图3 精明增长(左)和蔓延增长(右)及两种方案的人口分布变化(两方案总变化量相同)

Fig.3 Changes in distribution of population between smart growth (left) and sprawl (right) (with the same general changing amount)
来源:作者自绘。

则可以在汽车平均排放因素下，估计不同类型设施和服务水平(LOS)组合下的平均排放率。换言之，通过MOBILE6能将上文所提到的土地利用情景方案转换为所需要的汽车排放量。

交通出行情况是影响汽车排放量的重要影响因素，但是还需要考虑其他基于路段的排放影响因素：如车辆燃油类型、引擎技术、路段平均速度、设施类型(如高速公路，主干路)、排放控制标准、检查和维修(I/M)、环境条件(温度，湿度，大气压力)、车辆类别和车龄影响等。车辆类别包括轻型车(LDVs)，重型车(HDVs)和公交车。采用MOBILE6模型中基本排放率(BERs)可对每一技术类别的基于路段的尾气排放因素进行估计及校正。

$$EF_{Y,T,f,v} = BER_{Y,T,f,v} \times TECF \times HCF \times PCF \times CCF_T \times TCF_{T,T} \times SCF_{T,f,v} \quad (1)$$

其中： $BER_{Y,T,f,v}$ 为Y年份、传统技术条件T、设施类型f、平均循环速度v、标准温度、及压力和湿度条件下的基本排放率； $BER_{Y,T,f,v}$ 为循环修正因素，将联邦测试程序(FTP)循环速度下的BER转化为现实世界传统LDV技术下(相同平均循环速度)的基于路段的排放量； $EF_{Y,T,f,v}$ 为Y年份、技术类型T、设施类型f、及基于路段平均速度v条件下的现实世界基于路段的排放因素(g/sec)；HCF为当地相对湿度修正因素(无量纲)；PCF当地气压修正因素(无量纲)； $SCF_{T,f,v}$ 表示给定技术条件下速度和设施修正因素(无量纲)； $TCF_{T,T}$ 表示替代技术T对传统技术T的修正因素(无量纲)；TECF表示温度修正因素(无量纲)；f表示设施类型(高速公路，主干路，匝道，集散道路)；T表示车辆技术指标分类(传统的和先进的替代技术)；T为传统技术指标(轻型汽油车，重型柴油车和柴油公交车)；v表示标准行驶循环速度(轻型汽油车为19.6mph，重型柴油车和柴油公交车为20.0mph)；V路段平均车速(mph)；Y表示年份(2005，2030)；

模型可基于路段的排放模型与路段水平下的活动数据估计排放总量。对某一指定设施类型的单条路段总排放量估计见公式(2)和(3)：

$$t_i^T = 3600L_i / V_i^T \quad (2)$$

$$TE_{i,f} = \sum_T EF_{Y,T,f,v_i} \cdot t_i^T \cdot vol_i^T \quad (3)$$

其中i表示路段； V_i^T 为技术类别T下路段i上的平均车速(mph)； L_i 表示路段i的长度(miles)； t_i^T 表示路段i上车辆技术类别T的平均速度(sec/veh)； vol_i^T 为路段i技术类别T的车流量(veh/hr)；

$TE_{i,f}$ 为设施类别f路段i的总排放量(g)。

对网络中所有路段的TE求和得到排放总量估计。排放因素与TRANUS中得到结果相结合用来生成排放总量。

3.4 第四步：评估各情景方案的排放量

模型结果表明，在基础年(2010年)，两种方案按车型划分的车辆行驶里程(VMT)分布相类似。与基础年方案相比，到2050年，蔓延增长方案的车辆总行驶里程增长了97.5%，精明增长方案则增长了86.7%，精明增长方案比蔓延增长方案少增长5.5%。

对比出行行为，到2050年，在出行需求端，精明方案的公交乘客里程数比蔓延方案高50%，小汽车乘客里程数低6.3%，步行量提高54%，公交分担率提高超过一倍；在供给端，道路供给量基本相同，但精明方案比蔓延方案的公交供给量要高60%。

对比尾气排放量，由表1可知，对任何给定方案，车辆替代技术可以降低尾气排放；当替代车辆市场渗透率给定时，精明增长比蔓延增长方案可以更好地降低尾气排放；单独采用精明增长方案和单独使用替代车技术相比，精明增长方案降低尾气排放的效果更好。由此可见，土地利用和交通设施对城市的环境条件(如交通排放量与构成、及空气质量等)有显著影响。

4 结论和启示

4.1 结论

夏洛特汽车排放评估项目通过利用情景规划、TRANUS和MOBILE6，构建出土地利用、交通出行、以及尾气排放的整合模型。项目通过仿真模拟城市发展的两种情景方案，对比分析不同的土地利用方式下对交通出行和汽车排放量的影响，定量测算了土地利用对汽车排放量的影响。实证模拟表明，相对于城市蔓延发展模式，采用精明增长的土地利用方式能显著改变居民出行行为，增加公共交通的分担率，从而有效降低汽车使用率和尾气排放量。精明增长情景相较于蔓延增长方案在汽车尾气排放方面能预期有效减少7.8%的HC、6.3%的CO、5.5%的NOx。而这些正是影响PM2.5的主要成分。简言之，精明的城市空间结构发展模式能有效减少城市PM2.5污染物，改善城市空气质量。

评估项目中所采用的土地利用和交通整合模型还可以模拟各种交通政策对居民出行产生的影响，如土地利用方式对公交(常规公交，轨道交通)分担率、居民出行行为产生的影响。此外，情景规划和TRANUS的研究方法还可以拓展到其

他相关领域，如预测能源利用、水资源质量和总量等其他环境指标。

4.2 启示

国内城市减少汽车PM2.5排放的计划已经进入了议程，在试图通过制定新的成品油标准的同时，我们不应该忽略城市空间结构对降低汽车尾气排放的作用。通过解读美国夏洛特汽车排放评估项目，笔者总结出如下可借鉴经验：

第一，情景规划方案可作为一种应对未来发展非确定性、假设未来发展场景、并为未来城市土地利用方式提供了一种实证仿真模拟和量化分析的规划模型方法。一方面，作为一种方法，可帮助构建城市多种思路发展的规划方案，减少单一方案的弊端；其次，情景方案为城市发展的空间结构提供多个可供选择的预期场景，强化了规划方案之间的比选性。最重要的是，它可以在城市规划方案实施之前进行量化和仿真，从而减少城市空间布局定型后所带来的不确定代价。更值得一提的是，现有研究指出情景规划的期限为20-50年^[24]，这与我国城市总体规划的30年规划时限相一致，这为将情景规划引入到宏观规划层面提供了对应的研究平台。

第二，应用各种规划支持决策系统(PSS)可评估规划方案效果，对方案的选择、实施提供依据。通过TRANU软件和MOBILE6模型的运用，规划师可以对不同规划预期进行汽车排放量评估。类似项目在美国城市规划中已逐渐得到广泛使用。国内在规划方案的制定上有时也会采用多个情景方案，但由于缺少量化的评估手段或方法，目前主要使用定性分析，因此在方案的比选层面表现略为单薄。而利用规划决策辅助软件可有效弥补国内规划方案定性对比的缺陷，特别是针对环境影响因素所占权重较大的规划方案。因此，国内受到PM2.5影响较大的城市，可将这种研究方法运用到城市规划的方案制定和编制当中。通过搭建城市仿真模型平台，评估规划方案对环境、交通、生活品质等各方面的影响，量化研究城市规划方案实施效果，提供准确的比选依据，从而优选城市规划方案。

第三，项目结果表明土地紧凑、公交引导的开发模式能有效降低对汽车的依赖，增加公交和步行等出行方式，以此减少汽车消耗和排放。从这个角度上看，采用精明增长的城市发展方式不仅对城市土地集约利用起到很大的指导作用，而且还能有效改善城市空气环境，降低PM2.5的排放。与此相反，国内近些年一些城市的增长方式则采用粗放的建设方式，表现出城市的郊区化扩张和蔓延式发展趋势^[25]。一些中小城市表现尤甚，通过蔓延式扩张获取地产价值的补贴，用于

表1 不同规划方案尾气排放比较

Tab.1 Comparison of exhaust emissions in different scenarios

污染物	车辆组成	土地开发方案	
		蔓延增长	精明增长
HC	100%传统车型	基准	-7.8%
	73%传统车型+27%改良车型	-6.0%	-11.6%
CO	100%传统车型	基准	-6.3%
	73%传统车型+27%改良车型	-11.6%	-17.4%
NO _x	100%传统车型	基准	-5.5%
	73%传统车型+27%改良车型	-4.9%	-9.9%
CO ₂	传统车型	基准	-7.1%
	73%传统车型+27%改良车型	-3.5%	-10.2%

来源：作者整理。

改善城市基础设施，创造标志性地景和奇观，以此在区域竞争中获胜。据统计，全国城市建成区面积由1981年的0.74万km²增加到2008年的3.6万km²，年平均拓展速度为6.3%，超过了城镇人口的增长速率^[26]。换言之，近些年城市的发展呈现出人均城市建设用地增长明显，建成区人口密度不断下降的趋势。由此可见，必须反思现有的城市增长方式，明确采用紧凑化的城市空间结构、规避现阶段蔓延式发展、追求土地的高效和混合、提高公共交通的分担率，达到减少汽车消耗和PM2.5排放的目的。

注释(Notes)

不同年限和死亡率的相关性为：第1年至第9年分别为0.72、0.77、0.8、0.88、0.91、0.94、0.97、0.97、0.96。由此可见，第7年以后雾霾与死亡率具有高度的相关性。参见参考文献1。

专项组将这些因素归结为“人为粗放式排放和自然生态被破坏的直接后果”。在北京地区，机动车为城市PM2.5的最大来源，约为1/4；其次为燃煤和外来输送，各占1/5。参见：《京津冀雾霾检出大量危险含氮有机颗粒物》，<http://news.inewsweek.cn/news-44870-p-1.html>。

2013年2月6日，国务院常务会议指出，为加快油品质量升级，会议决定2013年6月底前发布第五阶段车用柴油标准(硫含量不高于10ppm)，2013年底前发布第五阶段车用汽油标准(硫含量不高于10ppm)，过渡期均至2017年底。参见：《专家：国五标准出台或促油价上涨3%左右》，http://news.ifeng.com/mainland/detail_2013_02/07/22032138_0.shtml。

参考文献(References)

- 1 Tie X, Wu D, Brasseur G. Lung Cancer Mortality and Exposure to Atmospheric Aerosol Particles in Guangzhou, China[J]. Atmospheric Environment, 2009,43(14): 2375-2377.
- 2 Banister D, Watson S, Wood C. Sustainable Cities: Transport, Energy, and Urban Form[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997,24(1): 125-143.

- 3 Newman P W G, Kenworthy J R. Gasoline Consumption and Cities[J]. Journal of the American Planning Association, 1989,55(1): 24-37.
- 4 Van De Coevering P, Schwanen T. Re-evaluating the Impact of Urban Form on Travel Patterns in Europe and North-America [J]. Transport Policy, 2006, 13(3): 229-239.
- 5 龙瀛, 毛其智, 杨东峰, 等. 城市形态、交通能耗和环境影响集成的多智能体模型[J].地理学报, 2011(8): 1033-1044.
Long Ying, Mao Qizhi, Yang Dongfeng, et al. A Multi-agent Model for Urban Form, Transportation Energy Consumption and Environmental Impact Integrated Simulation[J]. Acta Geographica Sinica, 2011(8): 1033-1044.
- 6 王静文, 毛其智, 杨东峰. 城市规划的能源影响探讨——规划视角中的城市交通能耗模型[C]//中国城市规划学会. 2008中国城市规划年会论文集, 大连: 大连出版社, 2008.
Wang Jingwen, Mao Qizhi, Yang Dongfeng. Energy to Explore the Impact of Urban Planning - Urban Transportation Planning Perspective Energy Model[C]// Urban Planning Society of China, 2008 Annual Conference of Urban Planning, Dalian: Dalian Publishing House. 2008.
- 7 刘健, 毛其智. 影响北京城市土地与交通协调发展的因素分析[J]. 城市规划, 2008(3): 56-61.
Liu Jian, Mao Qizhi. Factors Influencing Balanced Development of Land Use and Transportation: A Case Study of Beijing[J]. City Planning Review, 2008(3): 56-61.
- 8 钱寒峰, 杨涛, 杨明. 城市交通规划与土地利用规划的互动[J]. 城市问题, 2010(11): 21-24,51.
Qian Hanfeng, Yang Tao, Yang Ming. Interactive Urban Transport Planning and Land Use Planning[J]. Urban Problems, 2010(11): 21-24,51.
- 9 郑猛. 城市土地使用与交通协调发展[J]. 现代城市研究, 2010(1): 26-29.
Zheng Meng. The Harmonious Development of Urban Land Use and Transportation[J]. Modern Urban Research, 2010(1): 26-29.
- 10 周文竹, 阳建强, 葛天阳, 等. 城市用地“3D”发展模式研究——一种基于减少机动化需求的规划理念[J]. 城市规划, 2012(10): 51-57.
Zhou Wenzhu, Yang Jianqiang, Ge Tianyang, et al. Study on Three Dimensional Land Use Development: A Planning Concept Based on the Reduction of Motorized-Travel Demand[J]. City Planning Review, 2012(10): 51-57.
- 11 柴彦威, 肖作鹏, 刘志林. 基于空间行为约束的北京市居民家庭日常出行碳排放的比较分析[J]. 地理科学, 2011(7): 843-849.
Chai Yanwei, Xiao Zuopeng, Liu Zhilin. Comparative Analysis on CO₂ Emission Per Household in Daily Travel Based on Spatial Behavior Constraints[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011(7): 843-849.
- 12 肖作鹏, 柴彦威, 刘志林. 北京市居民家庭日常出行碳排放的量化分布与影响因素[J]. 城市发展研究, 2011(9): 104-112.
Xiao Zuopeng, Chai Yanwei, Liu Zhilin. Quantitative Distribution and Related Factors for Household Daily Travel CO₂ Emissions in Beijing[J]. Urban Studies, 2011(9): 104-112.
- 13 Badland H, Schofield G. Transport, Urban Design, and Physical Activity: An Evidence-based Update [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2005,10(3): 177-196.
- 14 Board T R. Driving and the Built Environment: The Effects of Compact Development on Motorized Travel, Energy Use, and CO₂ Emissions-Special Report 298[M]. Washington D C: National Research Council, 2009.
- 15 Brownstone D. Key Relationships between the Built Environment and VMT[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2008.
- 16 Saelens B E, Handy, Susan L. Built Environment Correlates of Walking: A Review[J]. 2008(S):550-566.
- 17 Salon D, Boarnet M G, Handy S, et al. How do Local Actions Affect VMT? A Critical Review of the Empirical Evidence[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2012,17(7): 495-508.
- 18 Wendel-Vos G C W, Schuit A J, R. De Niet, et al. Factors of the Physical Environmental Associated with Walking and Biking[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2004,36(4):725-30.
- 19 Frank L D, Stone Jr B, Bachman W. Linking Land Use with Household Vehicle Emissions in the Central Puget Sound: Methodological Framework and Findings [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2000,5(3): 173-196.
- 20 Frank L D, Sallis J F, Conway T L, et al. Many Pathways from Land Use to Health: Associations between Neighborhood Walkability and Active Transportation, Body Mass Index, and Air Quality[J]. Journal of the American Planning Association, 2006,72(1): 75-87.
- 21 Bart I L. Urban Sprawl and Climate Change: A Statistical Exploration of Cause and Effect, with Policy Options for the EU[J]. Land Use Policy, 2010,27(2): 283-292.
- 22 Reid Ewing K B, Steve Winkelman, Jerry Walters, et al. Growing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change[M]. Washington D C: Urban Land Institute, 2008.
- 23 Council N R. Advancing the Science of Climate Change: America's Climate Choices[M]. Washington D C: The National Academies Press, 2010.
- 24 Bartholomew K. Land Use-transportation Scenario Planning: Promise and Reality[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2007,34(4):397-412.
- 25 章征涛, 李世龙. 城市化的虚荣——对我国城市化现状的认识[J]. 城市发展研究, 2011(12): 1-6.
Zhang Zhengtao, Li Shilong. Pride of Urbanization: The Understanding of Current Urbanization in China[J]. Urban Development Studies, 2011(12): 1-6.
- 26 田莉. 我国城镇化进程中喜忧参半的土地城市化[J]. 城市规划, 2011(2): 11-12.
Tian Li. Urbanization of Land in Urbanization Process of China: Boon or Bane[J]. City Planning Review, 2011(2): 11-12.